

**DISPOSITIFS A EMISSION DE CHAMP****DESCRIPTION****DOMAINE TECHNIQUE ET ART ANTERIEUR**

5 L'invention concerne la réalisation de dispositifs de type « micro-triodes », mais aussi la réalisation de sources d'électrons à émissions de champ.

Les sources d'électrons plates ont de  
10 nombreuses applications, telles que les écrans ou les sources d'électrons pour la photolithographie. Les structures utilisées pour extraire les électrons sont de deux types. Ce sont :

- soit des structures collectives,  
15 c'est-à-dire qu'un ensemble 3 d'émetteurs est commandé par une électrode commune. Cette électrode est soit la grille 8 de commande d'une structure triode 6 (figure 1, sur laquelle les références 5 et 7 désignent respectivement une cathode et une anode), soit l'anode  
20 10 d'un système diode 12 (figure 2, la référence 13 désignant une cathode),

- soit des structures triodes individuelles, où chaque émetteur 14 est commandé par une grille individuelle 16 (figure 3, avec cathode 15  
25 et anode 17).

Dans le premier type, les émetteurs sont couplés. La densité maximum d'émetteurs pouvant fonctionner est de l'ordre de  $1/h^2$  ou  $h$  est la hauteur du nanotube. On ne peut donc obtenir une densité  
30 arbitrairement grande d'émetteurs fonctionnant sur la

surface que si  $h$  est très petit, ce qui conduit à des seuils d'émission électronique prohibitifs (le seuil est proportionnel au rapport hauteur sur rayon du nanotube).

5 Dans le deuxième cas, chaque émetteur est isolé dans une cavité. La densité des émetteurs est donc fixée par la taille du dispositif élémentaire que l'on sait réaliser. La limite est fournie par les dispositifs de photolithographie utilisés. Plus la  
10 résolution est grande, plus la surface du dispositif réalisable est petite et plus le dispositif est coûteux.

Pour des applications comme la photolithographie à haute résolution il serait  
15 intéressant de disposer de sources d'électrons à forte densité d'émetteurs, pour réaliser un masque émetteur d'électrons tel que décrit dans le brevet de Wong Bong Choi (US2002-0182542). Cette demande de brevet divulgue l'utilisation d'émetteurs en carbone dans une structure  
20 de type diode. De ce fait, les émetteurs sont tous couplés, avec les inconvénients déjà décrits. Par ailleurs, il n'y a aucun système permettant le contrôle de l'émission des émetteurs individuels. Aussi, une bonne uniformité de l'émission est difficile avec un  
25 tel dispositif.

Le but de l'invention est de proposer un nouveau type de source d'électrons à émission de champ.

Il se pose également le problème de trouver une nouvelle structure de dispositif d'émission à effet  
30 de champ, permettant une densité élevée d'émetteurs.

Un autre problème est de trouver une structure permettant un contrôle des émetteurs individuels, notamment lorsque la densité d'émetteurs est élevée.

## 5 EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention concerne une matrice ou un réseau d'émetteurs, réalisable sans utiliser de photolithographie à haute résolution, et donc compatible avec une fabrication en grande surface et un  
10 coût raisonnable.

L'invention concerne un dispositif à émission de champs, ou un dispositif émetteur d'électrons, comportant :

- une cathode,
- 15 - une couche isolante contenant des zones ouvertes, ces zones ouvertes contenant des émetteurs d'électrons, par exemple des nanotubes,
- une couche conductrice, dite couche de grille.

20 Un procédé selon l'invention permet de supprimer toute étape de lithographie pour la réalisation d'un dispositif à émission de champ.

L'invention concerne également un procédé de réalisation d'un dispositif émetteur d'électrons ou  
25 à émission de champ, comportant :

- la formation d'une cathode, par exemple en nitrure de titane, ou en molybdène, ou en chrome, ou en nitrure de tantale,
- la formation d'une couche isolante à  
30 zones ouvertes,

- la formation d'une couche conductrice, dite couche de grille,
- la formation d'émetteurs d'électrons dans les zones ouvertes de la couche isolante.

5 Les zones ouvertes peuvent être des pores, la couche isolante étant alors une couche isolante poreuse.

Une couche résistive, par exemple en silicium amorphe, peut être disposée entre la cathode  
10 et la couche isolante, afin d'uniformiser le courant émis.

Les émetteurs d'électrons peuvent être en carbone, la couche isolante poreuse pouvant être en alumine.

15 Selon un mode de réalisation, les zones ouvertes, notamment des pores, sont réalisées par anodisation de la couche d'aluminium.

Un catalyseur, par exemple en nickel, ou en fer, ou en cobalt, ou en oxyde de ces matériaux peut  
20 être réalisé sous forme de couche, entre la cathode et la couche isolante, ou bien au fond des zones ouvertes après formation de celles-ci.

Avantageusement, la couche de grille comporte une bicouche métallique, par exemple Palladium-  
25 chrome ou Palladium-molybdène.

L'invention concerne également un procédé de réalisation d'un dispositif à émission de champ, comportant :

- la formation d'une cathode,
- 30 - la formation d'une première couche isolante, puis d'une couche de grille,

- la formation d'une deuxième couche isolante et de zones ouvertes dans cette deuxième couche isolante,

- la gravure de la couche de grille et de la couche isolante à travers des zones ouvertes de la deuxième couche isolante,

- la formation d'émetteurs d'électrons, sur des zones de catalyseur, apparentes au fond des zones gravées de la première couche isolante.

10            Selon l'invention, afin de graver une structure de grille et d'un premier isolant, on peut utiliser, en tant que masque, une deuxième couche isolante, poreuse ou comportant des zones ouvertes. Cette deuxième couche peut ensuite être supprimée.

#### 15    **BREVE DESCRIPTION DES FIGURES**

- Les figures 1 à 3 représentent des dispositifs connus de l'art antérieur.

- La figure 4 représente une illustration d'un dispositif selon l'invention.

20            - Les figures 5A-5C et 6A-6C représentent des étapes de procédés de réalisation de dispositifs selon l'invention.

25            - Les figures 7A-7B, 8A - 8D et 9A-9C représentent des étapes d'autres procédés de réalisation de dispositifs selon l'invention.

#### **EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION DE L'INVENTION**

Un premier dispositif selon l'invention est représenté en coupe sur la figure 4.

Un tel dispositif comprend d'abord, en partant d'un substrat 20, une première couche conductrice 22, dite aussi conducteur cathodique.

Eventuellement, une couche résistive 24 assure la constance du courant émis pour chaque émetteur ou une certaine uniformisation des courants entre émetteurs voisins.

Une couche isolante 26 présente des zones ouvertes, qui peuvent être sous la forme d'une certaine porosité de la couche 26. Des émetteurs 29 sont localisés dans ces zones ouvertes de cette couche isolante.

Ces émetteurs peuvent être des nanotubes ou des nanofibres, réalisés en un matériau émissif, par exemple en carbone ou en métal (molybdène, ou palladium, par exemple) ou en matériau semi-conducteur (silicium par exemple). Par nanotube, on entend toute structure tubulaire nanométrique, pleine ou creuse, apte à émettre des électrons. Il s'agit par exemple de nanofibres ou de nanofils.

Enfin, une deuxième couche 28 conductrice constitue la grille de commande des émetteurs.

Cet ensemble émetteur ou source d'électrons constitue, avec une anode 17, comme illustré sur la figure 3, une structure de type triode. Il est ainsi constitué un ensemble de nanotriodes.

Ce dispositif élémentaire est réalisable de façon collective sur un substrat de grande dimension par rapport à la taille caractéristique de chaque triode.

Un premier exemple détaillé de réalisation d'une structure selon l'invention va être donné en liaison avec les figures 5A à 5C.

Une couche 30 de conducteur cathodique est  
5 réalisée en TiN ou en un autre matériau conducteur, par exemple en molybdène (Mo), ou en chrome (Cr), ou en nitrure de tantale (TaN). L'épaisseur de la couche 30 est comprise entre 10nm et 100nm, elle est par exemple de l'ordre de 60nm.

10 On dépose, sur cette couche 30, une couche 32 résistive, d'épaisseur par exemple comprise entre 500 nm et 1  $\mu$ m. Cette couche 32 est par exemple une couche de silicium amorphe, qui peut être déposée par pulvérisation cathodique ou par CVD. Cette couche  
15 permet de limiter le courant émis par les émetteurs individuels afin de rendre l'émission uniforme.

Sur cette couche 32 est déposée, par évaporation, une couche 34 de catalyseur, par exemple du Nickel ou du Fer ou du Cobalt ou une couche d'oxyde  
20 de ces matériaux. L'épaisseur de cette couche 34 est typiquement comprise entre 1nm et 10nm.

Il est ensuite procédé à un dépôt d'aluminium 36, par exemple par évaporation. Son épaisseur est typiquement de l'ordre de 100nm à 700nm.

25 Cette couche d'aluminium est anodisée : une couche isolante est donc réalisée, par anodisation de la couche d'aluminium, en utilisant par exemple un procédé en deux temps comme décrit dans la publication de H. Masuda (Jpn. J. Appl. Phys. Vol 35 (1996, pp  
30 L126-129).

A la fin du procédé d'anodisation, on obtient des pores 40 (figure 5B), de diamètre de l'ordre de quelques nanomètres, par exemple compris entre 5nm et 25 nm.

5 Ces pores ne sont pas connectés à la couche conductrice 32. Pour faire cette connexion (figure 5C), et contrôler le diamètre des pores, l'alumine 36 est gravée, par exemple avec de l'acide phosphorique, diluée à 5%.

10 Il est ensuite procédé au dépôt, sous incidence oblique, du métal 38 de grille (figure 5C).

Pour éviter le rebouchage des pores l'épaisseur déposée e est de préférence du même ordre de grandeur que le diamètre d des pores. Pour éviter ce  
15 rebouchage on peut aussi employer un bicouche métallique composé de :

- d'un premier matériau catalyseur tel que le Palladium (qui a un angle de fermeture très faible) et/ou le nickel et/ou le fer et/ou le cobalt, à une  
20 épaisseur par exemple comprise entre 1 nm et 20 nm

- et d'un deuxième métal, tel que le chrome et/ou le molybdène et/ou le cuivre et/ou le nobium, par exemple d'épaisseur comprise entre 20 nm et 100 nm, suivant le diamètre des ouvertures des pores ou des  
25 ouvertures qu'il ne faut pas boucher), qui ne catalyse pas la réaction de croissance des nanotubes.

On procède ensuite à une mise en goutte du catalyseur, par recuit. Le catalyseur au fond des trous est en fait ainsi réduit. Cette réduction se fait soit  
30 en présence d'une pression partielle d'hydrogène



(typiquement quelques 100mTorr), soit est assistée par un plasma RF d'hydrogène.

Il est ensuite procédé à la formation des émetteurs, en l'espèce une croissance de nanotubes ou de nanofibres, par exemple en carbone. On peut  
5 utiliser, pour réaliser les nanotubes, soit une méthode de croissance catalytique pure (par exemple le dépôt se fait à 600°C en présence d'acétylène à une pression de quelques 100mTorr), soit une méthode de croissance  
10 catalytique avec plasma RF. La température de dépôt est alors typiquement de 500°C, la puissance RF de 300 W, le gaz réactif étant un mélange  $H_2 + C_2H_2$  avec 5% d'acétylène, le tout sous une pression totale de 100mTorr.

15 Si la croissance est réalisée par CVD, on ajoute, pour obtenir des tubes de longueur uniforme, un bain d'ultrasons après dépôt, pour couper les tubes au niveau de la grille.

Un deuxième exemple est illustré sur les  
20 figures 6A-6C.

Il est procédé sensiblement de la même manière que dans l'exemple 1, mais sans dépôt préalable de couche de catalyseur : on obtient donc d'abord la structure de la figure 6A, avec une couche 30 de  
25 conducteur cathodique, une couche 32 résistive, et une couche 36 d'aluminium, puis d'alumine avec des pores 40.

Un catalyseur 44 est déposé par électrodéposition, après l'étape de l'ouverture des  
30 pores 40 dans l'alumine (figure 6B). Il peut aussi être réalisé par dépôt d'agrégats, ou par évaporation. Ce

catalyseur forme donc une couche 44 au fond des pores, mais aussi une couche 45 sur la partie supérieure de la couche d'alumine 36, à la périphérie des ouvertures des pores 40. Ce matériau catalyseur est par exemple du  
5 Palladium (qui a un angle de fermeture très faible) et/ou du nickel et/ou du fer et/ou du cobalt, à une épaisseur par exemple comprise entre 1 nm et 20 nm.

Un dépôt métallique sous incidence permet de réaliser la grille 48. Celle - ci recouvre la couche  
10 45 de catalyseur. Le métal employé est par exemple du chrome et/ou du molybdène et/ou du cuivre et/ou du nobium, par exemple d'épaisseur comprise entre 20 nm et 100 nm.

Il est ensuite procédé à la formation des  
15 émetteurs, comme déjà indiqué ci-dessus dans le cadre du premier exemple.

Dans les deux exemples, on obtient une structure identique à celle de la figure 4. Dans une autre variante, on peut, après formation des pores,  
20 faire croître dans ces pores des fils de silicium selon des techniques connues. On peut également procéder à un dépôt, par exemple un dépôt électrochimique d'un métal émissif comme le molybdène, le palladium ou l'or pour former un émetteur métallique.

25 Un autre exemple de procédé selon l'invention va être donné en liaison avec les figures 7A et 7B.

Sur un substrat 120 (figure 7A) on forme une couche de cathode 122, éventuellement recouverte  
30 d'une couche résistive.

Une couche de catalyseur 134 est ensuite formée sur la couche de cathode 122.

Une première couche isolante 124 est, à son tour, formée sur la couche de catalyseur 134. Cette  
5 couche isolante est par exemple en  $\text{SiO}_2$ , ou en  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , et peut avoir par exemple une épaisseur comprise entre 50 nm et 500 nm.

On forme ensuite une couche conductrice de grille 128, par exemple en Mo, et/ou Nb, et/ou Cr et/ou  
10 en Cu, et par exemple d'épaisseur comprise entre 10 nm et 100 nm.

Enfin, une deuxième couche isolante 126, dans laquelle sont réalisées des ouvertures 140, ou des zones ouvertes, par exemple une couche poreuse, est  
15 formée sur la couche de grille. Une couche poreuse peut être obtenue par dépôt d'aluminium d'épaisseur quelques centaines de nm, par exemple comprise entre 100 nm et 700 nm, par exemple de l'ordre de environ 500 nm, puis anodisation de cette couche d'aluminium, ce qui conduit  
20 à la formation de pores 140.

La couche de grille 128 ainsi que la première couche isolante 124 sont gravées au travers des ouvertures ou des pores 140 de la couche 126, pour déboucher sur la couche de catalyseur 134, par exemple  
25 par une gravure plasma (figure 7B).

Des nanotubes peuvent alors être formés, à partir des zones de catalyseur 134 mises à nu.

La deuxième couche isolante 126 peut ensuite être retirée, mais elle peut aussi être retirée  
30 avant formation des nanotubes. Ce retrait est par

exemple effectué par une attaque chimique à la soude ou à l'acide orthophosphorique ( $H_3PO_4$ ).

On obtient ainsi un dispositif émetteur d'électrons, ayant la structure de la figure 7B, sans la couche 126, des moyens émetteurs d'électrons étant  
5 disposés dans les ouvertures 140.

Un autre procédé selon l'invention va être décrit en liaison avec les figures 8A à 8C.

Une couche de cathode 222, éventuellement  
10 recouverte d'une couche résistive, est formée sur un substrat 220.

On forme ensuite une première couche isolante 224, puis une couche conductrice de grille 228 sur la couche isolante.

15 Une deuxième couche isolante 226, dans laquelle sont réalisées des ouvertures 240, ou des zones ouvertes, par exemple une couche poreuse, est, ensuite, formée sur la couche de grille (figure 8B).

Une couche poreuse peut être obtenue par  
20 dépôt d'aluminium d'épaisseur quelques centaines de nm, par exemple comprise entre 100 nm et 700 nm, par exemple de l'ordre de environ 500 nm, puis anodisation de cette couche d'aluminium, ce qui conduit à la formation de pores 240.

25 La couche de grille et la première couche isolante sont gravées à travers des ouvertures ou des pores de la couche 226, pour déboucher sur la cathode 222, ou sur la couche résistive (figure 8B).

On dépose ensuite une couche de catalyseur  
30 244, par exemple par évaporation ou au moyen d'un procédé électro-chimique (figure 8C).

Enfin, on procède au retrait de la couche 226 (figure 8D), par exemple par attaque à la soude ou au  $H_3PO_4$ .

Des nanotubes peuvent ensuite être formés sur les zones restantes de catalyseur 244, ces zones restantes étant localisées au fond des ouvertures 240.

On obtient ainsi un dispositif émetteur d'électrons, ayant la structure de la figure 8D, des moyens émetteurs d'électrons étant disposés dans les ouvertures 240.

Un troisième procédé va être décrit en liaison avec les figures 9A-9C.

Sur un substrat 320 est formée une couche 322 de cathode, éventuellement recouverte d'une couche résistive.

On forme une première couche isolante 324 sur la cathode 322, puis une couche conductrice de grille 328 sur cette première couche isolante.

Une deuxième couche isolante 326, dans laquelle sont réalisées des ouvertures 340, ou des zones ouvertes, par exemple une couche poreuse, est, ensuite, formée sur la couche de grille (figure 9A).

Une couche poreuse peut être obtenue par dépôt d'aluminium d'épaisseur quelques centaines de nm, par exemple comprise entre 100 nm et 700 nm, par exemple de l'ordre de environ 500 nm, puis anodisation de cette couche d'aluminium, ce qui conduit à la formation de pores 340.

On procède à la gravure de la couche de grille 328 et de la première couche isolante 324, au

travers des ouvertures ou des pores de la couche 326, afin de déboucher sur la cathode 322 (figure 9B).

La couche 326 est ensuite retirée, par exemple par attaque chimique à la soude ou au  $H_3PO_4$ .

5 On dépose ensuite une couche de catalyseur 332, par exemple par pulvérisation.

Par dépôt sous incidence oblique, une couche métallique 330 est formée sur la couche de catalyseur, pour masquer le catalyseur qui a été déposé  
10 sur la grille 328.

Des nanotubes peuvent ensuite être formés dans les zones de catalyseur 332 qui sont mises à nu (figure 9C).

On obtient ainsi un dispositif émetteur  
15 d'électrons, ayant la structure de la figure 9C, des moyens émetteurs d'électrons étant disposés dans les ouvertures 340.

Dans les procédés décrits ci-dessus en liaison avec les figures 7A, 7B, 8A - 8D, 9A - 9C, la  
20 deuxième couche isolante 126, 226, 326, dans laquelle des ouvertures ou des pores sont réalisées, est utilisée comme masque de gravure, avant d'être supprimée.

Des étapes de ces procédés qui ne sont pas  
25 spécifiquement décrites ont été décrites précédemment en liaison avec les figures 5A - 6C. C'est le cas notamment de la croissance des émetteurs ou des nanotubes. On peut aussi faire croître des fils de silicium selon des techniques connues. On peut  
30 également procéder à un dépôt, par exemple un dépôt électrochimique d'un métal émissif comme le molybdène,

le palladium ou l'or pour former un émetteur métallique.

Les matériaux utilisés pour le catalyseur 134, 244, 332 peuvent être ceux déjà indiqués dans les  
5 exemples précédents. Il en va de même pour les conducteurs de grille.

Une structure selon l'invention, quel qu'en soit le mode de réalisation, permet de former un dispositif d'émetteurs individuels, mais avec une  
10 grande densité puisque les pores formés ont un diamètre de l'ordre de quelques nanomètres.

Un dispositif émetteur selon l'invention pourra être muni de moyens pour porter la cathode, la couche de grille et une anode, disposés comme sur la  
15 figure 1, aux potentiels souhaités.

Typiquement on peut obtenir des nanotubes répartis tous les 40 nm, ou même moins.

## REVENDICATIONS

1. Dispositif à émission de champs, comportant :

- 5                   - une cathode (22, 30),  
                  - une couche isolante (26, 36), comportant des zones ouvertes (40),  
                  - une couche (28, 38, 48) conductrice, dite couche de grille, comportant au moins une couche (45)  
10 de matériau catalyseur de la formation des émetteurs d'électrons et au moins une couche (48) d'un matériau conducteur ne catalysant pas la formation des émetteurs d'électrons,  
                  - des émetteurs (29) d'électrons, dans des  
15 zones ouvertes (40) de la couche isolante et de la couche de grille.

2. Dispositif selon la revendication 1, la couche isolante étant une zone poreuse, les zones  
20 ouvertes (40) de la couche isolante étant des pores de cette couche.

3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, une couche résistive (24, 32) étant disposée entre  
25 la cathode et la couche isolante.

4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, les émetteurs d'électrons étant constitués de nanotubes (29) ou de nanofibres.



5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, les émetteurs d'électrons étant en carbone.

5 6. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, les émetteurs d'électrons étant en un matériau métallique.

7. Dispositif selon la revendication 6, les  
10 émetteurs d'électrons étant en molybdène ou en palladium.

8. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, les émetteurs d'électrons étant  
15 en matériau émissif semi-conducteur.

9. Dispositif selon la revendication 8, les émetteurs d'électrons étant en silicium.

20 10. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 9, la couche isolante étant en alumine.

11. Dispositif selon l'une des  
25 revendications 1 à 10, les zones ouvertes ou les pores ayant un diamètre compris entre 5 nm et 25 nm.

12. Procédé de réalisation d'un dispositif à émission de champ, comportant :  
30 - la formation d'une cathode (22, 30),

- la formation d'une couche isolante (26, 36) comportant des zones ouvertes (40),
- la formation d'une couche (28, 38, 48) conductrice, dite couche de grille, comportant au moins  
5 une couche (45) de matériau catalyseur de la formation des émetteurs d'électrons et au moins une couche (48) d'un matériau conducteur ne catalysant pas la formation des émetteurs d'électrons,
- la formation d'émetteurs d'électrons (29)  
10 dans les zones ouvertes de la couche isolante et de la couche de grille.

13. Procédé selon la revendication 12, la couche isolante étant poreuse, les zones ouvertes (40)  
15 de la couche isolante étant des pores de cette couche.

14. Procédé selon la revendication 12 ou 13 comportant en outre la formation d'une couche résistive (24,32), entre la cathode et la couche isolante.

20

15. Procédé selon la revendication 14, la couche résistive étant en silicium amorphe.

16. Procédé de réalisation d'un dispositif  
25 à émission de champ, comportant :

- la formation d'une cathode (122, 222, 322),
- la formation d'une première couche isolante (124, 224, 324), puis d'une couche de grille  
30 (128, 228, 328),

- la formation d'une deuxième couche isolante (126, 226, 326) et de zones ouvertes (140, 240, 349) dans cette deuxième couche isolante,

5 - la gravure de la couche de grille et de la première couche isolante, à travers des zones ouvertes de la deuxième couche isolante (126, 226, 326),

10 - la formation d'émetteurs d'électrons, sur des zones de catalyseur, apparentes au fond des zones gravées de la première couche isolante.

17. Procédé selon la revendication 16, comportant la formation d'une couche (134) de catalyseur, préalablement à la formation de la première  
15 couche isolante (124).

18. Procédé selon la revendication 17, comportant l'élimination de la deuxième couche isolante (126), avant ou après formation d'émetteurs  
20 d'électrons.

19. Procédé selon la revendications 16, comportant un dépôt, au moins dans les zones gravées (240, 340) de la première couche isolante, d'un  
25 matériau (244, 344) catalyseur, après gravure de la couche de grille (228, 328) et de la première couche isolante (224, 324).

20. Procédé selon la revendication 19, comportant en outre l'élimination de la deuxième couche  
30 isolante (226), après dépôt du matériau catalyseur.

21. Procédé selon la revendication 19, comportant en outre l'élimination de la deuxième couche isolante (326), avant dépôt du matériau catalyseur (332), puis le dépôt de ce dernier dans les zones gravées de la première couche isolante (324) et sur des zones non gravées de la grille (328).

22. Procédé selon la revendication 21, comportant en outre la formation d'une couche métallique (330) sur la couche de catalyseur (332) déposée sur la grille.

23. Procédé selon l'une des revendications 16 à 22, la deuxième couche isolante étant une zone poreuse, les zones ouvertes étant des pores de cette couche.

24. Procédé selon l'une des revendications 16 à 23, une couche résistive, par exemple en silicium amorphe, étant disposée sur la cathode (122, 222, 322).

25. Procédé selon l'une des revendications 12 à 24, les émetteurs étant des nanotubes ou des nanofibres.

25

26. Procédé selon la revendication 25, les nanotubes étant obtenus par croissance catalytique pure ou avec plasma RF.

27. Procédé selon l'une des revendications 25 ou 26, les émetteurs étant en carbone.

30

28. Procédé selon l'une des revendications 12 à 25, les émetteurs d'électrons étant obtenus par dépôt électrochimique d'un métal émissif.

5                    29. Procédé selon l'une des revendications 12 à 28, la couche isolante, ou la deuxième couche isolante, étant réalisée à partir d'une couche en aluminium.

10                   30. Procédé selon la revendication 29, les zones ouvertes ou les pores étant réalisés par anodisation de la couche d'aluminium.

15                   31. Procédé selon l'une des revendications 12 à 30, la cathode étant en nitrure de titane (TiN), ou en molybdène, ou en chrome, ou en nitrure de tantale (TaN).

20                   32. Procédé selon l'une des revendications 12 à 31, le catalyseur étant en Nickel, ou en fer, ou en cobalt, ou en un oxyde de ces matériaux.

1 / 5

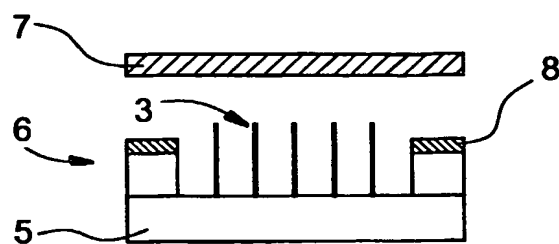


FIG. 1

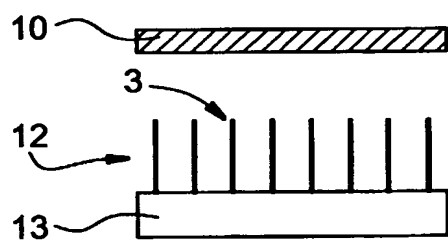


FIG. 2

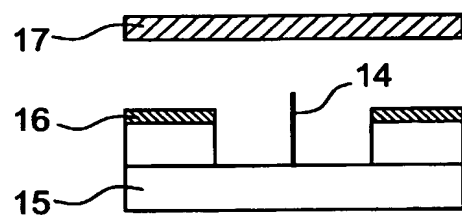


FIG. 3

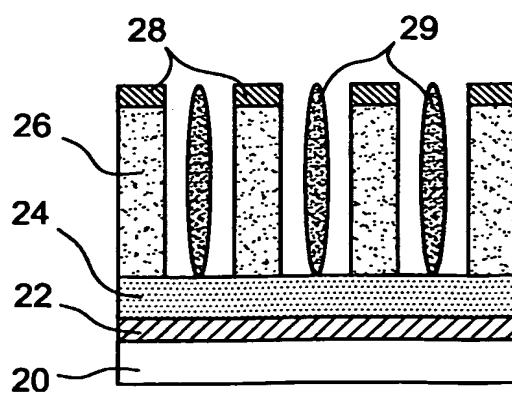


FIG. 4

2 / 5

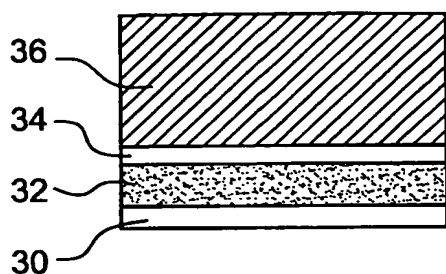


FIG. 5A

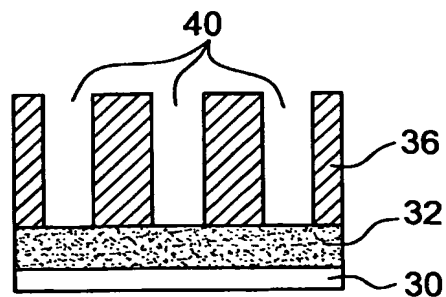


FIG. 6A

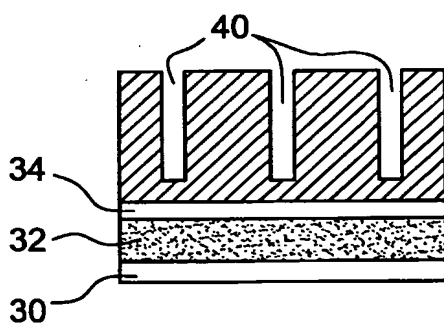


FIG. 5B

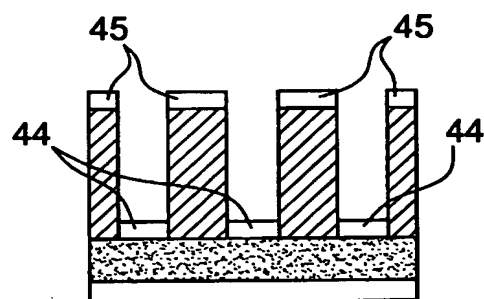


FIG. 6B

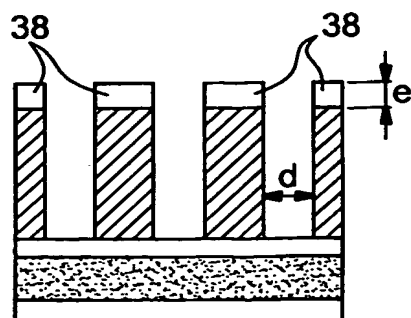


FIG. 5C

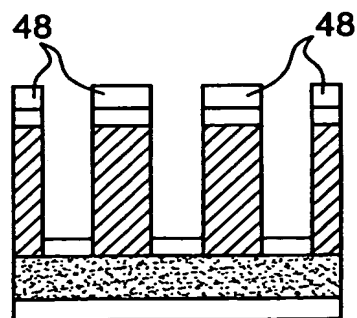


FIG. 6C

3 / 5

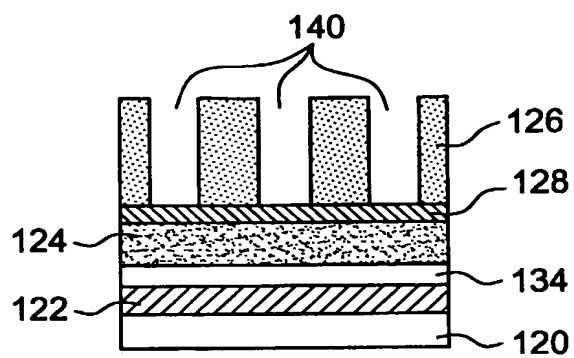


FIG. 7A

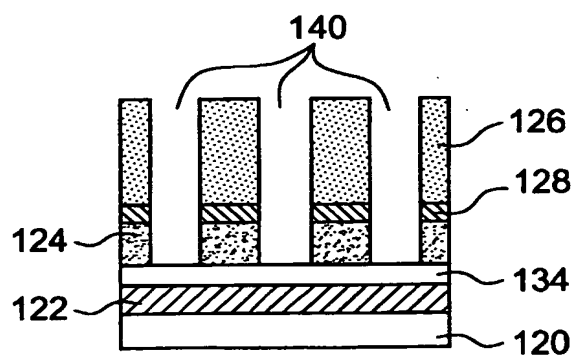


FIG. 7B



4 / 5

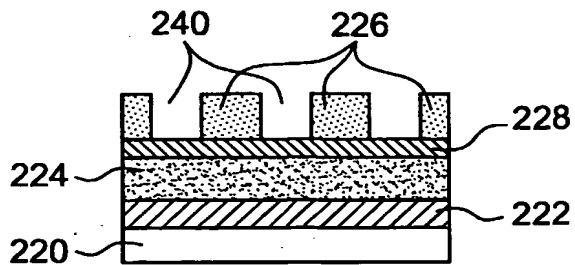


FIG. 8A

FIG. 8B

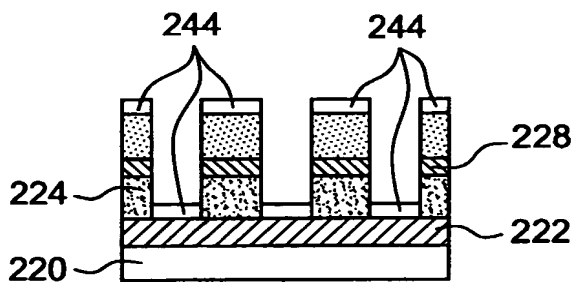
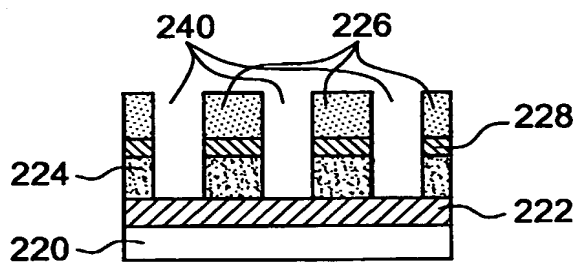
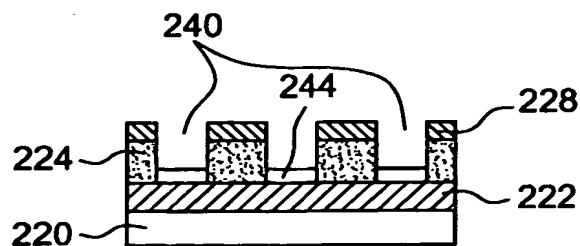


FIG. 8C

FIG. 8D



5 / 5

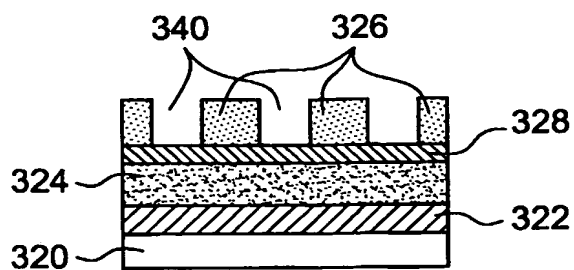


FIG. 9A

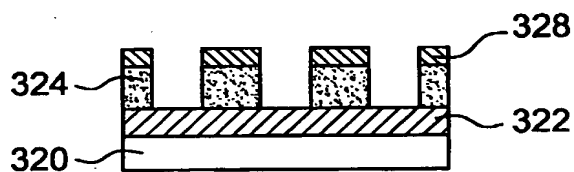


FIG. 9B

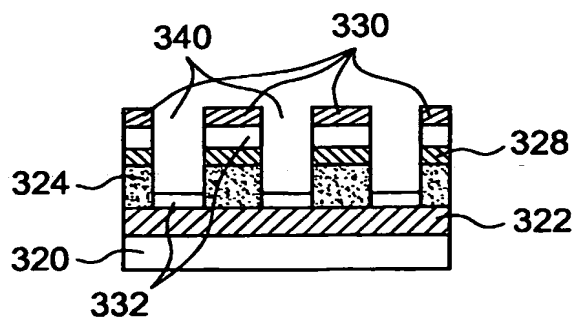


FIG. 9C